

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 1 067 412 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
10.01.2001 Bulletin 2001/02

(51) Int Cl.7: G02B 6/16

(21) Numéro de dépôt: 00401856.0

(22) Date de dépôt: 29.06.2000

(84) Etats contractants désignés:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Etats d'extension désignés:  
AL LT LV MK RO SI

- de Montmorillon, Louis-Anne  
75017 Paris (FR)
- Fleury, Ludovic  
78390 Bois d'Arcy (FR)
- Nouchi, Pascale  
78600 Maisons Laffitte (FR)

(30) Priorité: 29.06.1999 FR 9908298

(71) Demandeur: ALCATEL  
75008 Paris (FR)

(74) Mandataire: Feray, Valérie et al  
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL  
Dépt. Propriété Industrielle,  
30, avenue Kléber  
75116 Paris (FR)

(72) Inventeurs:  
• Sillard, Pierre  
75014 Paris (FR)

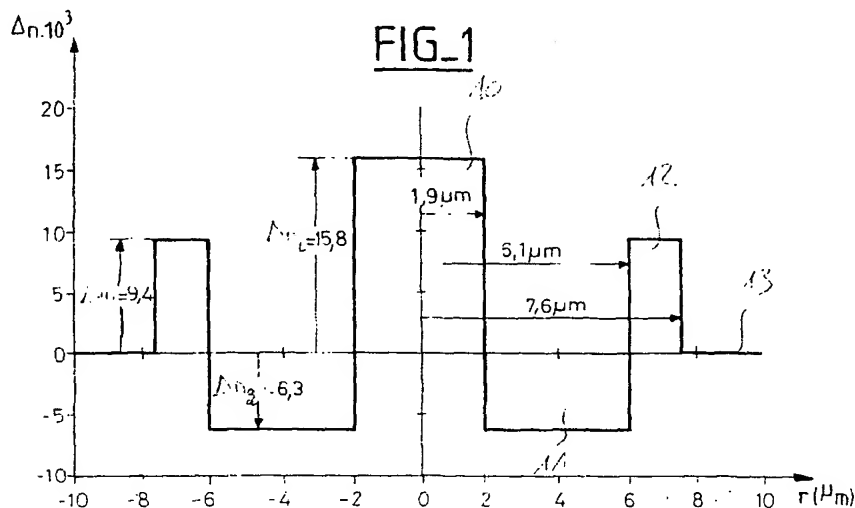
### (54) Fibre optique à compensation de dispersion chromatique

(57) L'invention propose une fibre optique pour la compensation de la dispersion chromatique d'une fibre optique à dispersion chromatique positive.

La fibre de l'invention présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure à -40 ps/(nm.km), voire à -50 ps/(nm.km), un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique entre 50 et 230

nm, ainsi qu'une aire effective supérieure à 12  $\mu\text{m}^2$ , et des pertes par courbures inférieures ou égales à 0,05 dB. Elle permet de compenser en ligne la dispersion chromatique cumulée dans une fibre de ligne à dispersion chromatique positive.

L'invention concerne aussi un système de transmission à fibre optique, utilisant une telle fibre pour compenser la dispersion chromatique cumulée dans la fibre de ligne.



## Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des transmissions par fibre optique

[0002] Pour des fibres optiques, on qualifie généralement le profil d'indice en fonction de l'allure du graphe de la fonction qui associe au rayon de la fibre l'indice de réfraction. On représente de façon classique sur les abscisses la distance  $r$  au centre de la fibre, et sur les ordonnées la différence entre l'indice de réfraction et l'indice de réfraction de la gaine de la fibre. On parle ainsi de profil d'indice en "échelon", en "trapèze" ou en "triangle" pour des graphes qui présentent des formes respectives d'échelon, de trapèze ou de triangle. Ces courbes sont généralement représentatives du profil théorique ou de consigne de la fibre, les contraintes de fabrication de la fibre pouvant conduire à un profil sensiblement différent.

[0003] Dans les nouveaux réseaux de transmission à hauts débits et multiplexés en longueur d'onde, il est avantageux de gérer la dispersion chromatique, notamment pour des débits supérieurs ou égaux à 10 Gbit/s par canal ; l'objectif est d'obtenir, pour toutes les valeurs de longueur d'onde du multiplex, une compensation chromatique cumulée sensiblement nulle sur la liaison, de manière à limiter l'élargissement des impulsions. Une valeur cumulée de quelques centaines de ps/nm pour la dispersion est en général acceptable. Il est aussi intéressant d'éviter au voisinage des longueurs d'onde utilisées dans le système les valeurs nulles de la dispersion chromatique, pour lesquelles les effets non-linéaires sont plus importants. Enfin, il est aussi intéressant de limiter la pente de dispersion chromatique sur la plage du multiplex de manière à éviter ou limiter les distorsions entre les canaux du multiplex.

[0004] On utilise classiquement comme fibre de ligne pour les systèmes de transmissions à fibres optiques des fibres à saut d'indice dites SMF (pour Single Mode Fiber en anglais). La demanderesse commercialise ainsi sous référence ASMF 200 une fibre monomode à saut d'indice présentant une longueur d'onde  $\lambda_0$  d'annulation de la dispersion chromatique entre 1300 et 1320 nm, et une dispersion chromatique inférieure ou égale à 3,5 ps/nm/km dans une plage de 1285 à 1330 nm, et de 17 ps/nm.km à 1550 nm. La pente de la dispersion chromatique à 1550 nm est de l'ordre de 0,06 ps/nm<sup>2</sup>.km.

[0005] Pour compenser la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique de ces fibres SMF, initialement installées pour fonctionner autour de 1310 nm, et que l'on souhaite utiliser à présent comme fibres de ligne sur une fenêtre située autour de 1550 nm, le document WO 98/04941 décrit une fibre optique à compensation de dispersion (DCF pour Dispersion Compensating Fiber en anglais) présentant, à 1550 nm, une forte valeur de dispersion chromatique négative, typiquement inférieure à -150 ps/nm.km. Afin de limiter les effets non linéaires, cette fibre a en outre une surface effective de mode supérieure à 30  $\mu\text{m}^2$  à 1550 nm

D'autre part, selon l'un des modes de réalisation décrits dans ce document, la pente de la dispersion chromatique de cette fibre peut être comprise entre -5 et -0,1 ps/nm<sup>2</sup>.km, toujours à 1550 nm

[0006] De telles valeurs lui permettent notamment d'être utilisée pour compenser la dispersion d'une fibre dite NZ-DSF (pour Non-Zero Dispersion Shifted Fiber en anglais) dont la dispersion chromatique est comprise entre 6 et 10 ps/nm.km et la pente de dispersion chromatique est inférieure à 0,07 ps/nm<sup>2</sup>.km à 1550 nm.

[0007] On qualifie de DSF des fibres telles qu'à la longueur d'onde de transmission à laquelle elles sont utilisées, qui est en général différente de la longueur d'onde de 1,3  $\mu\text{m}$  pour laquelle la dispersion de la silice est sensiblement nulle, leur dispersion chromatique est sensiblement nulle ; en d'autres termes, la dispersion chromatique de la silice, non nulle, est compensée - d'où l'emploi du terme décalé - par une augmentation de l'écart d'indice  $\Delta n$  entre le coeur de la fibre et la gaine optique. Cet écart d'indice permet de décaler la longueur d'onde pour laquelle la dispersion chromatique est sensiblement nulle ; il est obtenu par l'introduction de dopants dans la préforme, lors de la fabrication de celle-ci, par exemple par un procédé MCVD connu en soi, et qui n'est pas décrit plus en détail ici.

[0008] On qualifie de NZ-DSF des fibres à dispersion décalée présentant une dispersion chromatique non-nulle pour les longueurs d'onde auxquelles elles sont utilisées.

[0009] La fibre DCF du document WO 98/04941, bien que susceptible compte tenu de ses caractéristiques optiques de compenser la dispersion des fibres DSF et NZ-DSF et plus particulièrement de celle ayant les caractéristiques mentionnées plus haut, n'est pas adaptée car elle présente des pertes par courbure très importantes (de l'ordre de 0,3 dB/m pour un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm) étant donné que la différence d'indice entre la partie centrale de son coeur et sa gaine optique est limitée.

[0010] La présente invention a pour objet de mettre au point une fibre à compensation de dispersion capable notamment de compenser la dispersion chromatique d'une fibre NZ-DSF dont la dispersion chromatique est comprise entre 5 et 11 ps/nm.km et la pente de dispersion chromatique est inférieure à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km à 1550 nm, tout en présentant des pertes par courbure lui permettant d'être effectivement utilisée dans les systèmes de transmission optique actuels.

[0011] La présente invention propose à cet effet une fibre optique à compensation de dispersion présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -40 ps/nm.km, une pente de la dispersion chromatique négative, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm et une surface effective supérieure ou égale à 12  $\mu\text{m}^2$ ,

caractérisée en ce qu'elle présente à 1550 nm des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB pour

un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm.

**[0012]** De préférence, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -50 ps/(nm.km)

**[0013]** La borne supérieure du rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique peut être choisi à 200 nm, 180 nm ou 160 nm.

**[0014]** La borne inférieure du rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique peut être choisi à 80 nm, 100 nm ou 120 nm.

**[0015]** Toutes les combinaisons entre ces valeurs de bornes supérieures et inférieures sont combinables pour déterminer une plage préférée pour ce rapport.

**[0016]** Dans un mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une surface effective supérieure ou égale à  $15 \mu\text{m}^2$ , de préférence supérieure ou égale à  $20 \mu\text{m}^2$ .

**[0017]** Dans un autre mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km.

**[0018]** Dans encore un autre mode de réalisation, la fibre présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à  $4 \mu\text{m}$ .

**[0019]** Avantageusement, la fibre a pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.

**[0020]** La fibre peut présenter un profil d'indice en rectangle avec une tranchée déprimée et un anneau. Dans ce cas, il est préférable que la différence entre l'indice de la partie enterrée et l'indice de la gaine soit supérieur ou égale à  $-8 \cdot 10^{-3}$ .

**[0021]** L'invention propose aussi l'utilisation d'une telle fibre comme fibre de dispersion de compensation dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde.

**[0022]** La fibre de compensation peut alors être câblée et utilisée comme fibre de ligne, ou encore être placée dans un module de compensation.

**[0023]** L'invention propose ensuite un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section de fibre de ligne, et une deuxième section de fibre de ligne du genre défini plus haut.

**[0024]** La fibre de ligne de la première section présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km, ainsi qu'une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km.

**[0025]** Dans un mode de réalisation, le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.

**[0026]** Avantageusement, la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50

ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

**[0027]** L'invention propose enfin un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant de la fibre de ligne, et de la fibre du genre défini plus haut comme fibre de compensation dans un module de compensation.

**[0028]** La fibre de ligne de la première section présente avantageusement pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km, ainsi qu'une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km.

**[0029]** De préférence, le rapport de la longueur de la fibre de ligne à la longueur de la fibre de compensation est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de ligne et de compensation.

**[0030]** Avantageusement, la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.

**[0031]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés, qui montrent

- figures 1 à 3, des représentations schématiques du profil d'indice de consigne de fibre selon différents modes de réalisation de l'invention ;
- figure 4, une représentation schématique d'une section d'un système de transmission utilisant de la fibre de compensation de dispersion selon l'invention.

**[0032]** L'invention propose une fibre de compensation de dispersion, présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm, une dispersion chromatique inférieure à -40 ps/nm.km, une pente de dispersion chromatique négative, un rapport de la dispersion chromatique à la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm, une surface effective supérieure à  $12 \mu\text{m}^2$ , et des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB.

**[0033]** Les caractéristiques préférés de la fibre de l'invention sont donc les suivantes:

- dispersion chromatique à 1550 nm inférieure à -40 ps/nm.km, et de préférence inférieure ou égale à -50 ps/nm.km et supérieure ou égale à -150 ps/nm.km ;
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique à 1550 nm compris entre 50 et 230 nm, et de préférence entre 80 et 200 nm, voire entre 100 et 180 nm, voire encore entre 120 et 160 nm ;
- surface effective supérieure à  $12 \mu\text{m}^2$ , voire  $15 \mu\text{m}^2$ , ou de préférence  $20 \mu\text{m}^2$  ;
- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm inférieure ou égale à 1, ou de préférence inférieure ou égale

à 0,5 :

- pertes par courbure à 1550 nm inférieures ou égales à 0,05 dB, et de préférence inférieures à  $5 \cdot 10^{-3}$  dB

**[0034]** La fibre de l'invention peut être utilisée pour la compensation en ligne d'une fibre NZ-DSF dont la dispersion chromatique est comprise entre 6 et 10 ps/nm.km et la pente de dispersion chromatique est inférieure à 0,07 ps/nm<sup>2</sup>.km à 1550 nm, ou de fibres de même type. Elle est particulièrement adaptée aux fibres présentant à 1550 nm une dispersion chromatique comprise entre 5 et 11 ps/nm.km, et une pente de dispersion chromatique inférieure à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km, notamment du fait de la valeur de son rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique qui est compris entre 50 et 230 nm.

**[0035]** Elle peut être utilisée comme composant dans un module de compensation, c'est-à-dire non pas comme fibre de ligne, mais dans un module discret. Elle présente alors de préférence une longueur d'onde de coupure effective selon la norme UIT-T G650, inférieure ou égale à 1550 nm.

**[0036]** Elle peut encore être câblée et utilisée comme fibre de ligne pour la compensation, avec de préférence une longueur d'onde de coupure en câble inférieure ou égale à 1300 nm.

**[0037]** La fibre de l'invention permet de constituer des systèmes de transmission à très haut débit, en multiplexage en longueurs d'onde, et permet par exemple d'atteindre des débits de  $N \times 20$  Gb/s, ou de  $N \times 40$  Gb/s.

**[0038]** De façon connue en soi, les pertes par courbure sont évaluées en mesurant les pertes induites dans une fibre par l'enroulement de 100 tours de la fibre autour d'un tambour de rayon 30 mm. La sensibilité aux micro-courbures est évaluée de façon relative, par rapport à la fibre commercialisée par la demanderesse sous la référence ASMF 200 ; on peut employer la méthode d'écrasement de la fibre entre deux grilles, connue en soi.

**[0039]** On donne dans la suite de la description en référence aux figures des exemples de profils de fibre permettant d'obtenir de telles valeurs. Les profils des figures 1 à 3 présentent une allure identique, et varient par les valeurs numériques des rayons et des indices.

**[0040]** La figure 1 montre une représentation schématique du profil d'indice de consigne d'une fibre selon un premier mode de réalisation de l'invention ; dans ce mode de réalisation, le profil d'indice est un profil d'indice du type en rectangle, avec une tranchée enterrée, un anneau et une gaine optique, qui présente, en partant du centre de la fibre :

- une partie centrale 10 d'indice sensiblement constant supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique 13,
- une partie annulaire 11 ou tranchée enterrée, d'indice inférieur ou égal à l'indice de la gaine 13, ayant

de préférence une différence d'indice avec la gaine supérieure à  $-8 \cdot 10^{-3}$  ; une telle valeur minimale de la différence d'indice facilite la fabrication de la fibre,

- une partie annulaire 12 ou anneau d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine 13 et inférieur ou égal à celui de la partie centrale 10,
- une gaine optique 13,

l'ensemble constituant un profil d'indice dit "en rectangle avec une tranchée enterrée ou déprimée".

**[0041]** Autour de la tranchée enterrée, la fibre de la figure 1 présente une partie annulaire ou anneau 11, c'est-à-dire une partie d'indice supérieur à l'indice de la gaine 13, d'où le qualificatif de profil en rectangle avec une tranchée enterrée et un anneau.

**[0042]** Les valeurs d'indices et de rayons dans le mode de réalisation de la figure 1 sont les suivantes. Le rectangle central présente un rayon  $r_1$  de 1,9  $\mu\text{m}$  et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence  $\Delta n_1$  de  $15,8 \cdot 10^{-3}$ .

**[0043]** La tranchée enterrée s'étend entre les rayons  $r_1$  et  $r_2$ , avec  $r_2 = 6,1 \mu\text{m}$ , et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence  $\Delta n_2$  de  $-6,3 \cdot 10^{-3}$ .

**[0044]** Autour de la tranchée s'étend l'anneau, entre les rayons  $r_2$  et  $r_3$ , avec  $r_3 = 7,6 \mu\text{m}$  ; il présente par rapport à la gaine une différence d'indice  $\Delta n_3$  de  $9,4 \cdot 10^{-3}$ .

**[0045]** Autour de l'anneau s'étend la gaine de la fibre, par rapport à laquelle sont mesurées les différences d'indice.

**[0046]** Ces valeurs permettent d'obtenir une fibre présentant les caractéristiques suivantes :

- longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  : 1773 nm
- surface effective à 1550 nm : 22  $\mu\text{m}^2$
- dispersion chromatique à 1550 nm : -51 ps/nm.km
- pente de dispersion chromatique à 1550 nm : -0,35 ps/nm<sup>2</sup>.km
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique : 145 nm ;
- diamètre de mode  $2W_{02}$  à 1550 nm : 5,2  $\mu\text{m}$
- atténuation du fait des courbures à 1550 nm, pour 100 tours d'une bobine de rayon 30 mm, inférieure ou égale à  $10^{-5}$  dB
- sensibilité aux micro-courbures à 1550 nm : 0,5.

**[0047]** La longueur d'onde de coupure donnée ici est la longueur d'onde de coupure théorique ; dans la pratique, la longueur d'onde de coupure effective selon la norme UIT-T G650 et la longueur d'onde mesurée sur câble sont inférieures de quelques centaines de nm ; on comprend que la fibre est effectivement monomode dans la plage de longueurs d'onde des signaux utiles, par exemple de 1530 à 1620 nm.

**[0048]** La figure 2 montre une représentation schématique du profil d'indice d'une autre fibre selon l'invention ; la figure montre bien que le profil a une allure similaire à celui de la figure 1, avec des valeurs nu-

mériques différentes. Ces valeurs sont les suivantes. Le rectangle présente un rayon  $r_1$  de  $1,7 \mu\text{m}$  et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence  $\Delta n_1$  de  $17,8 \cdot 10^{-3}$ .

[0049] La tranchée enterrée s'étend autour du rectangle jusqu'à un rayon  $r_2$  de  $5,9 \mu\text{m}$ , et son indice présente avec l'indice de la gaine une différence  $\Delta n_2$  de  $-6,2 \cdot 10^{-3}$ .

[0050] L'anneau s'étend autour de la tranchée, jusqu'au rayon  $r_3$ , avec  $r_3 = 7,5 \mu\text{m}$  : elle présente par rapport à la gaine une différence d'indice  $\Delta n_3$  de  $8,8 \cdot 10^{-3}$ .

[0051] Autour de l'anneau s'étend la gaine de la fibre, par rapport à laquelle sont mesurées les différences d'indice.

[0052] Ces valeurs permettent d'obtenir une fibre présentant les caractéristiques suivantes :

- longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  :  $1788 \text{ nm}$
- surface effective à  $1550 \text{ nm}$  :  $20,5 \mu\text{m}^2$
- dispersion chromatique à  $1550 \text{ nm}$  :  $-75 \text{ ps/nm.km}$
- pente de dispersion chromatique à  $1550 \text{ nm}$  :  $-0,51 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique :  $147 \text{ nm}$  ;
- diamètre de mode  $2W_{02}$  à  $1550 \text{ nm}$  :  $5 \mu\text{m}$
- atténuation du fait des courbures à  $1550 \text{ nm}$ , pour 100 tours d'une bobine de rayon  $30 \text{ mm}$ , inférieure ou égale à  $10^{-5} \text{ dB}$
- sensibilité aux micro-courbures à  $1550 \text{ nm}$  :  $0,45$ .

[0053] Le mode de réalisation de la figure 3 correspond à une fibre dont la dispersion chromatique est encore plus élevée que dans les fibres précédentes. Les valeurs des indices et des rayons sont les suivantes :

$$r_1 = 1,6 \mu\text{m}, \Delta n_1 = 20,5 \cdot 10^{-3}$$

$$r_2 = 5,8 \mu\text{m}, \Delta n_2 = -6,9 \cdot 10^{-3}$$

$$r_3 = 6,8 \mu\text{m}, \Delta n_3 = 16 \cdot 10^{-3}$$

[0054] On obtient pour la fibre de la figure 3 les caractéristiques suivantes :

- longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  :  $1790 \text{ nm}$
- surface effective à  $1550 \text{ nm}$  :  $19 \mu\text{m}^2$
- dispersion chromatique à  $1550 \text{ nm}$  :  $-106 \text{ ps/nm.km}$
- pente de dispersion chromatique à  $1550 \text{ nm}$  :  $-0,74 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$
- rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique :  $142 \text{ nm}$
- diamètre de mode  $2W_{02}$  à  $1550 \text{ nm}$  :  $4,8 \mu\text{m}$
- atténuation du fait des courbures à  $1550 \text{ nm}$ , pour 100 tours d'une bobine de rayon  $30 \text{ mm}$ , inférieure ou égale à  $10^{-4} \text{ dB}$
- sensibilité aux micro-courbures à  $1550 \text{ nm}$  :  $0,5$ .

[0055] Dans tous ces modes de réalisation, des variations de 5 % de l'indice  $\Delta n_1$  de la partie centrale, ou de 10% des indices  $\Delta n_2$  et  $\Delta n_3$  de la tranchée enterrée et de l'anneau permettent d'obtenir des résultats similaires. Il en est de même des rayons, qui peuvent varier individuellement de 5% par rapport aux valeurs données dans l'exemple des figures, tout en obtenant des résultats analogues.

[0056] Plus généralement, les profils satisfaisant les conditions de l'invention présentent au moins les caractéristiques suivantes :

$$12 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 40 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } 15 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30 \cdot 10^{-3}$$

$$-8 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -3 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } -8 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -4 \cdot 10^{-3}$$

$$1 \leq r_1 \leq 2,5 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 1,3 \leq r_1 \leq 2,2 \mu\text{m}$$

$$6 \leq r_3 \leq 10 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 6,5 \leq r_3 \leq 9 \mu\text{m}.$$

[0057] Les profils satisfaisant les conditions de l'invention peuvent en outre présenter les caractéristiques additionnelles suivantes :

$$0,5 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 20 \cdot 10^{-3}, \text{ et de préférence } 2 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 18 \cdot 10^{-3}$$

$$4 \leq r_2 \leq 7 \mu\text{m}, \text{ et de préférence } 4,5 \leq r_2 \leq 6,5 \mu\text{m}.$$

[0058] La figure 4 montre une représentation schématisée d'une partie d'un système de transmission, dans lequel on utilise de la fibre de compensation selon l'invention en tant que fibre de ligne. On a représenté à la figure 4 deux amplificateurs 1 et 2 voisins du système de transmission ; entre les deux amplificateurs la fibre de ligne est constituée d'une section 3 de fibre du type de la fibre NZ-DSF décrite plus haut (c'est-à-dire fibres présentant une dispersion chromatique comprise entre 5 et 11 ps/nm.km, et une pente de dispersion chromatique inférieure à  $0,08 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$  à  $1550 \text{ nm}$ ), et d'une deuxième section 4 de fibre selon l'invention. La fibre de la première section présente une dispersion chromatique à  $1550 \text{ nm}$  de  $8 \text{ ps/nm.km}$ , et une pente de dispersion chromatique à la même longueur d'onde de  $0,055 \text{ ps/nm}^2.\text{km}$ . L'utilisation dans la deuxième section d'une fibre de compensation de dispersion selon le mode de réalisation de la figure 1 permet de compenser sur la plage de longueurs d'onde du multiplex la dispersion chromatique cumulée dans la première section de fibre. La fibre de compensation de dispersion présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de  $145 \text{ nm}$  ; la fibre de ligne de la première section présente un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique de  $145 \text{ nm}$ .

[0059] Le rapport des longueurs respectives des fibres de la première et de la deuxième section est choisi de manière à minimiser la dispersion chromatique cumulée sur la liaison, et dans l'exemple, peut être de l'ordre de 6,4, c'est-à-dire voisin de l'inverse du rapport 8/51 des dispersion chromatiques.

[0060] Dans un tel cas, pour une première section de fibre d'une longueur de  $86 \text{ km}$ , et une deuxième section de fibre de compensation de  $14 \text{ km}$ , la dispersion chro-

matique cumulée pour le canal à 1550 nm du multiplex est proche de 0 ps/nm

**[0061]** Dans la plage du multiplex, c'est-à-dire entre 1530 et 1620 nm, la dispersion chromatique cumulée est inférieure à 50 ps/nm pour chaque canal, pour les 100 km des première et deuxième sections. On arrive de la sorte à limiter la dispersion chromatique cumulée à des valeurs inférieures à 100 ps/nm, pour chaque canal, en moyenne sur 100 km, comme indiqué plus haut.

**[0062]** La fibre de l'invention peut être fabriquée par l'homme du métier à l'aide de techniques connues, comme le MCVD ou les autres techniques couramment utilisées pour la fabrication des fibres optiques.

**[0063]** Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples et modes de réalisation décrits et représentés, mais elle est susceptible de nombreuses variantes accessibles à l'homme de l'art. Il est clair que les profils des figures 1 à 3 ne sont donnés qu'à titre d'exemple, et que d'autres profils peuvent permettre d'obtenir des fibres présentant les caractéristiques de l'invention. La fibre de l'invention peut être utilisée comme dans le mode de réalisation de la figure 4 dans un système de transmission à répéteurs, mais aussi dans un système de transmission sans répéteurs.

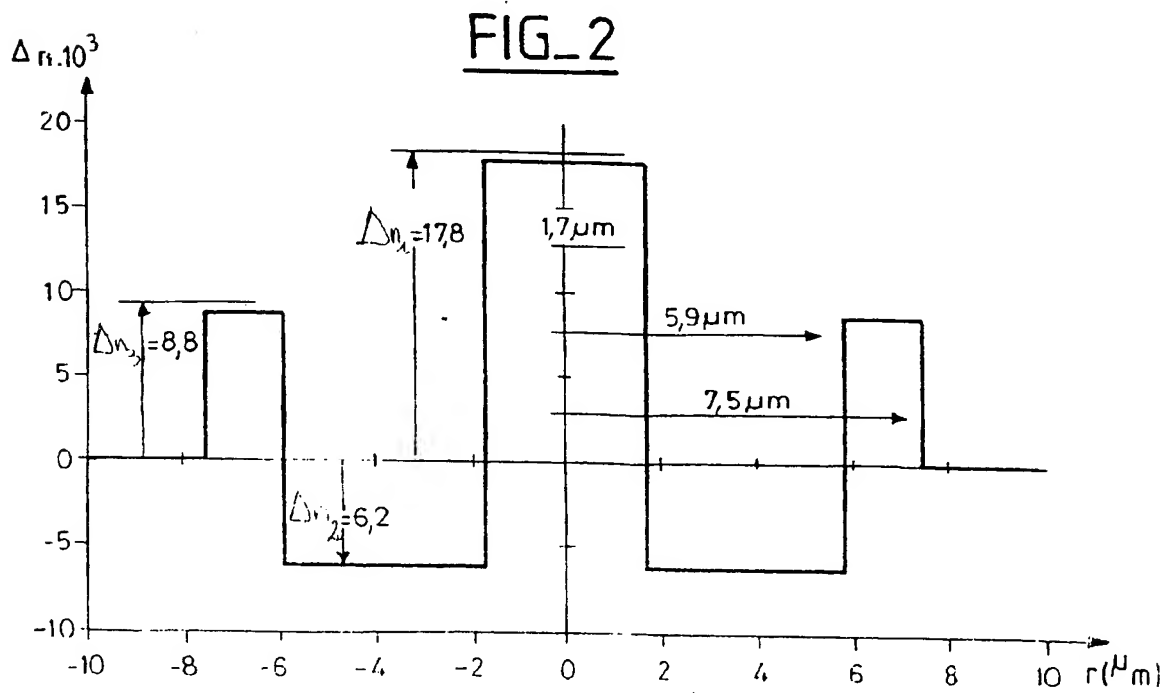
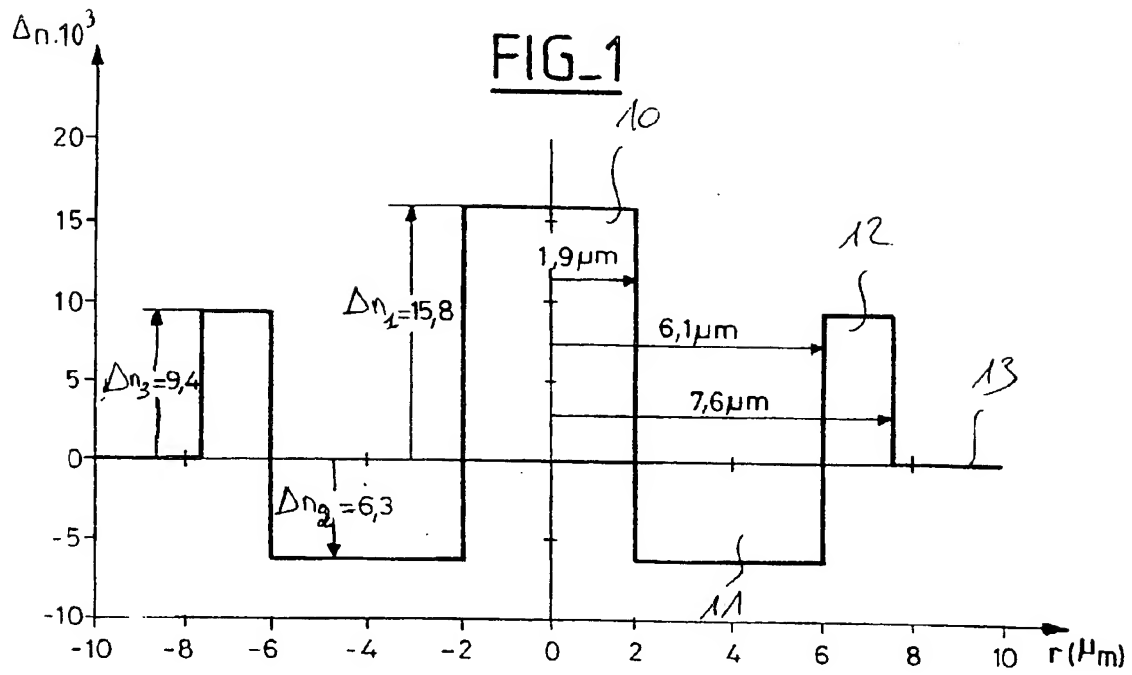
#### Revendications

1. Fibre optique à compensation de dispersion présentant pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -40 ps/nm.km, une pente de la dispersion chromatique négative, un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de la dispersion chromatique compris entre 50 et 230 nm et une surface effective supérieure ou égale à 12  $\mu\text{m}^2$ ,  
**caractérisée en ce qu'elle présente à 1550 nm des pertes par courbure inférieures ou égales à 0,05 dB pour un enroulement de 100 tours avec un rayon de 30 mm.**
2. Fibre selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique supérieure ou égale à -150 ps/nm.km.
3. Fibre selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique inférieure ou égale à -50 ps/nm.km.
4. Fibre selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 200 nm.
5. Fibre selon l'une des revendications 1 à 4, caracté-

risée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 180 nm.

6. Fibre selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique inférieur à 160 nm.
7. Fibre selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 80 nm.
8. Fibre selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 100 nm.
9. Fibre selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un rapport entre la dispersion chromatique et la pente de dispersion chromatique supérieur à 120 nm.
10. Fibre selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une surface effective supérieure ou égale à 15  $\mu\text{m}^2$ , de préférence supérieure ou égale à 20  $\mu\text{m}^2$ .
11. Fibre selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une atténuation inférieure ou égale à 1 dB/km.
12. Fibre selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm un diamètre de mode supérieur ou égal à 4  $\mu\text{m}$ .
13. Fibre selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisée en ce qu'elle présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une sensibilité aux micro-courbures inférieure ou égale à 1, et de préférence inférieure ou égale à 0,5.
14. Fibre selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce qu'elle comporte une gaine optique extérieure et présente un profil d'indice comprenant, de l'intérieur vers l'extérieur, une partie centrale d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique, une partie annulaire ou partie enterrée, d'indice inférieur ou égal à l'indice de la gaine opti-

- que, une partie annulaire ou anneau d'indice supérieur ou égal à l'indice de la gaine optique et inférieur ou égal à celui de la partie centrale, et une gaine optique
15. Fibre selon la revendication 14, caractérisée en ce que la différence entre l'indice de la partie enterrée et l'indice de la gaine est supérieure ou égale à  $-8 \cdot 10^{-3}$ .
16. Fibre selon la revendication 15 caractérisée en ce qu'elle présente les caractéristiques suivantes :  
 $12 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 40 \cdot 10^{-3}$ , et de préférence  $15 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30 \cdot 10^{-3}$   
 $-8 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -3 \cdot 10^{-3}$ , et de préférence  $-8 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -4 \cdot 10^{-3}$   
 $1 \leq r_1 \leq 2,5 \mu\text{m}$ , et de préférence  $1,3 \leq r_1 \leq 2,2 \mu\text{m}$   
 $6 \leq r_3 \leq 10 \mu\text{m}$ , et de préférence  $6,5 \leq r_3 \leq 9 \mu\text{m}$ ,  
 où :  
 $\Delta n_1$  est la différence d'indice entre la partie centrale et la gaine  
 $\Delta n_2$  est la différence d'indice entre la partie enterrée et la gaine  
 $r_1$  est le rayon de la partie centrale  
 $r_3$  est le rayon de l'anneau.
17. Fibre selon la revendication 16 caractérisée en ce qu'elle présente en outre les caractéristiques suivantes :  
 $0,5 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 20 \cdot 10^{-3}$ , et de préférence  $2 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 18 \cdot 10^{-3}$   
 $4 \leq r_2 \leq 7 \mu\text{m}$ , et de préférence  $4,5 \leq r_2 \leq 6,5 \mu\text{m}$   
 où :  
 $\Delta n_3$  est la différence d'indice entre l'anneau et la gaine  
 $r_2$  est le rayon de la partie enterrée.
18. Utilisation d'une fibre selon l'une des revendications 1 à 17 comme fibre de dispersion de compensation dans un système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde.
19. Utilisation selon la revendication 18, la fibre de compensation étant câblée et utilisée comme fibre de ligne.
20. Utilisation selon la revendication 18, la fibre de compensation étant placée dans un module de compensation.
21. Système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant une première section (3) de fibre de ligne, et une deuxième section (4) de fibre de ligne selon l'une des revendications 1 à 17
22. Système de transmission selon la revendication 21, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km.
23. Système de transmission selon l'une des revendications 21 ou 22, caractérisé en ce que la fibre de ligne de la première section présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km.
24. Système selon l'une des revendications 21 à 23, caractérisé en ce que le rapport de la longueur de la première section à la longueur de la seconde section est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de la première section et de la deuxième section.
25. Système selon l'une des revendications 21 à 24, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission.
26. Système de transmission à fibre optique à multiplexage en longueur d'onde, comprenant de la fibre de ligne, et de la fibre selon l'une des revendications 1 à 17 comme fibre de compensation dans un module de compensation.
27. Système de transmission selon la revendication 26, caractérisé en ce que la fibre de ligne présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une dispersion chromatique entre 5 et 11 ps/nm.km.
28. Système de transmission selon l'une des revendications 26 ou 27, caractérisé en ce que la fibre de ligne présente pour une longueur d'onde de 1550 nm une pente de dispersion chromatique inférieure ou égale à 0,08 ps/nm<sup>2</sup>.km.
29. Système selon l'une des revendications 26 à 28, caractérisé en ce que le rapport de la longueur de la fibre de ligne à la longueur de la fibre de compensation est sensiblement l'inverse de la valeur absolue du rapport des dispersions chromatiques à 1550 nm des fibres de ligne et de compensation.
30. Système selon l'une des revendications 26 à 29, caractérisé en ce que la dispersion chromatique cumulée pour chaque canal entre 1530 et 1620 nm est inférieure à 100 ps/nm, et de préférence inférieure à 50 ps/nm, en moyenne sur 100 km de transmission





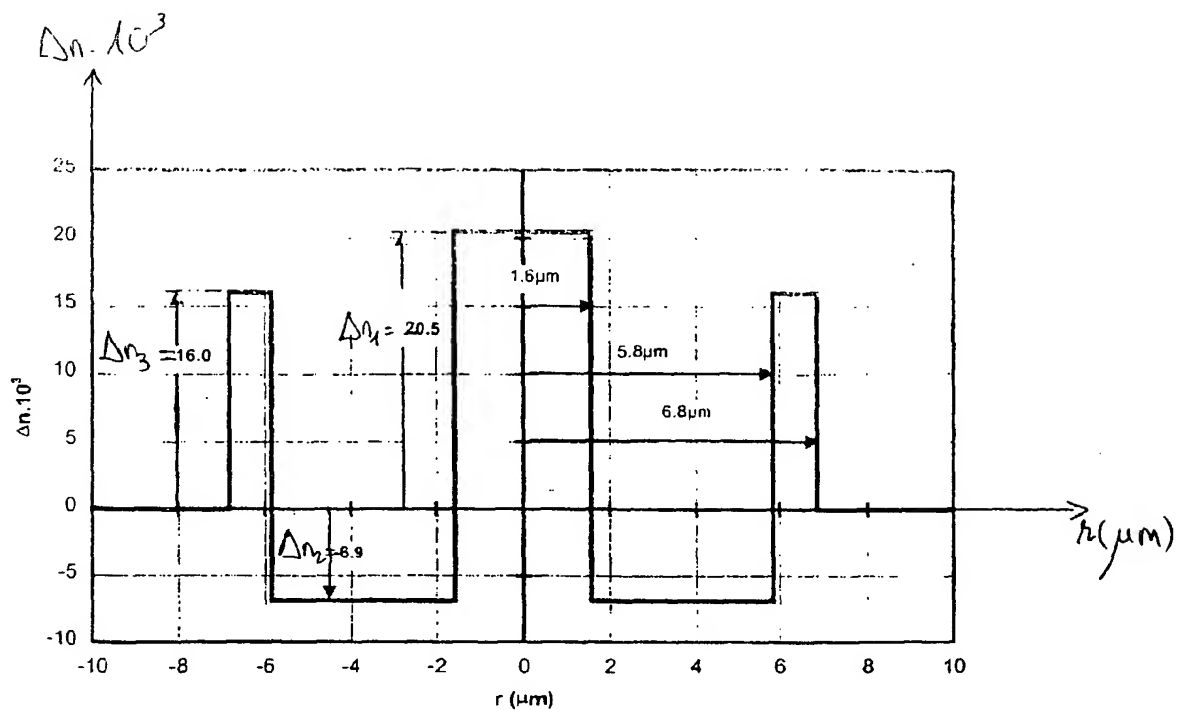
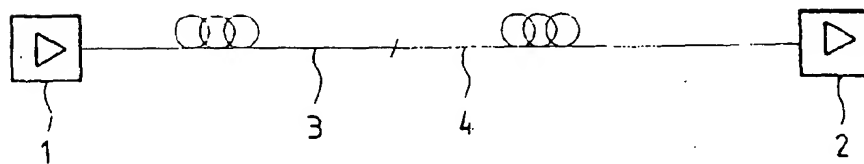


Figure 3

FIG\_4





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 00 40 1856

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	EP 0 883 002 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 9 décembre 1998 (1998-12-09) * abrégé; figure 3C * * page 4, ligne 45 - page 5, ligne 55 *	1-30	602B6/16
A	US 5 838 867 A (KANAMORI HIROO ET AL) 17 novembre 1998 (1998-11-17) * abrégé; figures 1,5A,8,10,11 * * colonne 3, ligne 1 - colonne 5, ligne 67 * * colonne 6, ligne 51 - ligne 62 * * colonne 10, ligne 40 - ligne 61 *	1-30	
A	VENGSARKAR A M ET AL: "DISPERSION-COMPENSATING SINGLE-MODE FIBERS: EFFICIENT DESIGNS FOR FIRST- AND SECOND-ORDER COMPENSATION" OPTICS LETTERS,US,OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 18, no. 11, 1 juin 1993 (1993-06-01), pages 924-926, XP000304592 ISSN: 0146-9592 * le document en entier *	1-30	
A,D	US 5 568 583 A (UMEDA ATSUSHI ET AL) 22 octobre 1996 (1996-10-22) * abrégé; figure 5D * * colonne 5; tableaux 1-3 *	1-30	
A	EP 0 554 714 A (CORNING INC) 11 août 1993 (1993-08-11) * abrégé; figures 1,8 *	1-30	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>26 septembre 2000</b>	Examinateur <b>Jakober, F</b>
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique C : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>I : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPC FORM 1503 03 R2 (F04032)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 00 40 1856

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

26-09-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0883002 A	09-12-1998	US 5878182 A	02-03-1999
		AU 711776 B	21-10-1999
		AU 6993898 A	10-12-1998
		BR 9801775 A	14-09-1999
		CA 2237282 A	05-12-1998
		CN 1201913 A	16-12-1998
		DE 69800250 D	14-09-2000
		JP 11052161 A	26-02-1999
		RU 2140095 C	20-10-1999
US 5838867 A	17-11-1998	CA 2202586 A	15-10-1997
		JP 10039155 A	13-02-1998
US 5568583 A	22-10-1996	CA 2157828 A	14-03-1996
		JP 8136758 A	31-05-1996
EP 0554714 A	11-08-1993	US 5361319 A	01-11-1994
		AU 660522 B	29-06-1995
		AU 3211693 A	05-08-1993
		CA 2084217 A	05-08-1993
		DE 69327120 D	05-01-2000
		DE 69327120 T	20-04-2000
		EP 0935146 A	11-08-1999
		JP 6011620 A	21-01-1994

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No. 12/82

